

WO 03/029725 A1

WO 03/029725 A1



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Verbrennungsverfahren, insbesondere für Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verbrennungsverfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft außerdem ein mit flammenloser Verbrennung arbeitendes Verbrennungsverfahren mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 2. Des weiteren bezieht sich die Erfindung auf eine Anlage, insbesondere Gasturbinenanlage, zur Durchführung derartiger Verbrennungsverfahren, sowie auf eine besondere Verwendung eines mit flammenloser Verbrennung arbeitenden Verbrennungsverfahrens.

Stand der Technik

Aus der WO 98/55208 ist ein Verbrennungsverfahren für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme bekannt, bei dem ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Brennstoff und im wesentlichen stickstofffreien Inertgas gebildet und in einem Brenner verbrannt wird. Das Inertgas wird dabei durch die Verbrennungsabgase des Brenners gebildet, wobei in diesem an sich stickstofffreien Abgas über den verbrannten Brennstoff durchaus vernachlässigbare parasitäre Stickstoffanteile enthalten sein können. Der Sauerstoff für das Gasgemisch wird dabei mit Hilfe einer Sauerstoff-Transport-Membran bereitgestellt, die an einer Sperrseite mit vorzugsweise erhitzter und komprimierter Luft beaufschlagt ist. Diese Membran entzieht an ihrer Sperrseite der dort vorhandenen Luft Sauerstoff, transportiert diesen an eine Durchgangsseite der Membran und setzt ihn dort frei.

Mit Hilfe eines Spülgases kann der Sauerstoff auf der Durchgangsseite abtransportiert werden. Zweckmäßig wird als Spülgas das Verbrennungsabgas des Brenners verwendet, das durch eine Verbrennung mit Brennstoff zusätzlich erwärmt sein kann. Bestimmte Ausführungsformen derartiger Membranen sind als MCM-Membran (mixed conducting membrane) bekannt.

Bei einem derartigen Verbrennungsprozess ist - abgesehen von parasitären Stickstoffanteilen im Brennstoff - kein Stickstoff beteiligt, so daß die entstehenden Abgase im wesentlichen nur CO_2 und H_2O in Form von Wasserdampf enthalten. Durch Auskondensieren des Wasserdampfes kann das CO_2 separiert und relativ problemlos entsorgt werden. Da bei einem derartigen Verbrennungsprozess somit grundsätzlich keine schädlichen Emissionen anfallen, kann hier auch von einem Nullemissionsverfahren (zero emission process) gesprochen werden.

Um die Leistungsfähigkeit einer Sauerstoff-Transport-Membran zu steigern, ist ein relativ hoher Volumenstrom an Spülgas erforderlich. Bei diesen vorteilhaften grossen Spülgasmengen ergibt sich jedoch ein Abgas-Sauerstoff-Gemisch, dessen Sauerstoffanteil so gering ist, daß es nur noch sehr schwach reaktiv ist. Herkömmliche Verbrennungsverfahren, insbesondere mit Diffusionsflamme arbeitende Verbrennungsverfahren, sind nicht mehr anwendbar. Beispielsweise kann das Gasgemisch aus mit Spülgas verdünntem Sauerstoff und beigefügtem Brennstoff hinsichtlich seines Volumens wie folgt zusammengesetzt sein: 2,5 % CH_4 , 5 % O_2 , 27,5 % CO_2 , 65 % H_2O . Die Temperatur dieses Gasgemischs beträgt üblicherweise zwischen 600 und 900° C. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich bei existierenden Magerformischbrennern und katalytischen Brennern eine Reaktivität, die kleiner ist als bei sonst üblichen Brennstoff/Luft-Mischungen bei gleichen Temperaturen. Hierdurch kommt es zu hohen Zündverzugszeiten, zu einer reduzierten Flammengeschwindigkeit und zu engeren Magerlöschgrenzen. Darüber hinaus werden die Betriebsparameter auch dadurch verschlechtert, daß die erzielbare Temperatur der Verbrennungsgase deutlich reduziert ist und beispielsweise nur bei etwa 1.200° C liegt. Aufgrund dieser Bedingungen können herkömmliche Verbren-

nungsverfahren nicht in zufriedenstellender Weise zu einer stabilen Verbrennung eines derart schwach reaktiven Gasgemischs verwendet werden.

Bei der Integration eines Brenners in einen Wärmetauscher und/oder in eine mit einer Sauerstoff-Transport-Membran arbeitende Sauerstofftrenneinrichtung oder wenn der Brenner seine Verbrennungsabgase unmittelbar in einen Wärmetauscher oder eine solche Sauerstofftrenneinrichtung einspeist, ergeben sich weitere Probleme, da der Betrieb derartiger Wärmetauscher bzw. Sauerstofftrenneinrichtungen nur dann im Hinblick auf Wärmeübertragung und thermische Belastung optimal ist, wenn eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung erreicht wird. Bei herkömmlichen Verbrennungsverfahren ergeben sich jedoch üblicherweise ungleichmäßige Temperaturverteilungen.

Aus der EP 0 463 218 A1 ist ein Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einem Verbrennungsraum bekannt, bei dem Brennstoff mit vorzugsweise vorgewärmter Verbrennungsluft in Gegenwart von zurückgeführten Verbrennungsabgasen oxidiert wird. Bei der Verbrennung von Luft wird stets thermisches NO_x gebildet, wobei mit zunehmender Flammentemperatur die NO_x -Bildung stark zunimmt. Zur Reduzierung der NO_x -Emissionen schlägt das bekannte Verfahren vor, den Brennstoff mit extrem hoher Verbrennungsabgasrückführung im wesentlichen flammenlos und pulsationsfrei zu oxidieren. Dies wird dadurch erreicht, daß Verbrennungsabgase, denen vorher aus dem System nach außen abgeführte Nutzwärme entzogen wurde, mit der vorgewärmten Verbrennungsluft in einem Verbrennungsabgasrückführverhältnis größer oder gleich 2 vermischt wird, wobei das Abgasrückführverhältnis als das Verhältnis der Massenströme des rückgeführten Verbrennungsabgases und der zugeführten Verbrennungsluft definiert ist, wobei dieses Abgas-Luft-Gemisch auf einer Temperatur gehalten wird, die höher liegt als die Zündtemperatur, und wobei das Abgas/Luft-Gemisch sodann mit dem Brennstoff unter Ausbildung einer Oxidationszone zusammengebracht wird, in der eine im wesentlichen flammenlose und pulsationsfreie Oxidation in dem Verbrennungsraum stattfindet. Durch dieses bekannte Verfahren können die NO_x -Emissionen bei der Verbrennung von Luft schätzungsweise um einen Faktor 10 reduziert werden.

Darstellung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit Problem, für die Verbrennung von schwach reaktiven und stickstofffreien Gasgemischen zufriedenstellend funktionsfähige Möglichkeiten aufzuzeigen.

Dieses Problem wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen wiedergegeben.

Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, die zur Reduzierung der NO_x -Emissionen bekannte flammenlose Verbrennung zur Verbrennung eines stickstofffreien Gasgemischs zu verwenden. Es ist leicht erkennbar, daß die Anwendung eines zur Reduktion der NO_x -Emissionen bekannten, mit flammenloser Verbrennung arbeitenden Verfahrens bei einem stickstofffrei und somit ohne NO_x -Emissionen arbeitenden Verbrennungsverfahren offensichtlich motivationslos erfolgt, da das stickstofffrei arbeitende Verbrennungsverfahren hinsichtlich seiner NO_x -Emissionswerte nicht verbessert werden kann. Die Erfindung nutzt nun die Erkenntnis, daß sich ein mit flammenloser Verbrennung arbeitendes Verbrennungsverfahren in besonderer Weise zur Verbrennung schwach reaktiver Gasgemische eignet. Durch die erfindungsgemäße Kopplung eines stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozesses mit einem flammenlos arbeitenden Verbrennungsprozess kann die Leistungsfähigkeit des stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozesses deutlich verbessert werden, wenn ein schwach reaktives Gasgemisch verbrannt werden soll, insbesondere wenn der Sauerstoff des zu verbrennenden Gasgemischs mit Hilfe einer Sauerstoff-Transport-Membran bei größerer Spülgasmenge gewonnen wird. Durch die Erfindung wird ein Synergieeffekt erreicht, der so nicht zu erwarten war, da das bekannte mit flammenloser Verbrennung arbeitende Verbrennungsverfahren ausdrücklich zur Reduktion der NO_x -Emissionen dient, die es aber bei einem stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsverfahren, von dem die Erfindung ausgeht, gar nicht gibt. Insoweit nutzt die vorliegende Erfindung das mit flammenloser Verbrennung arbeitende Verbrennungsverfahren zu einem anderen

Zweck. Denn durch die Verwendung der flammenlosen Verbrennung wird bei einem stickstofffrei arbeitenden Verbrennungsprozess eine zuverlässige und stabile Verbrennung eines schwach reaktiven Gasgemisches ermöglicht.

Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Referenzzeichen auf gleiche oder funktional gleiche oder ähnliche Merkmale beziehen. Es zeigen, jeweils schematisch,

Fig. 1 eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

Fig. 2 eine stark vereinfachte Prinzipdarstellung eines Brenners für eine Vorrichtung gemäß Fig. 1 und

Fig. 3 eine Ansicht wie in Fig. 2, jedoch bei einer anderen Ausführungsform.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Entsprechend Fig. 1 besitzt eine erfindungsgemäße Vorrichtung oder Anlage 1 eine Gemischbildungseinrichtung 2 sowie einen Brenner 3. Die Gemischbildungseinrichtung 2 umfaßt eine Sauerstofftrenneinrichtung 4, die mit einer Sauerstoff-Transport-Membran 5 ausgestattet ist. Die Membran 5 besitzt entsprechend Fig. 1 oben eine Sperrseite 6 und entsprechend Fig. 1 unten eine Durchgangsseite 7. Auf

der Sperrseite 6 wird der Membran 5 ein sauerstoffhaltiges Gas A_1 , z.B. Luft, zugeführt. An der Membran 5 erfolgt dann entsprechend einem Pfeil 8 ein Transport von Sauerstoff (O_2), der von der Sperrseite 6 der Membran 5 entnommen und auf deren Durchgangsseite 7 transportiert wird. In der Sauerstofftrenneinrichtung 4 wird demnach der Sauerstoffgehalt des auf der Sperrseite 6 zugeführten Gases A_1 reduziert; dementsprechend ist in Fig. 1 das in der Sauerstofftrenneinrichtung 4 befindliche Gas mit A gekennzeichnet. Aus der Sauerstofftrenneinrichtung 4 tritt dann bezüglich seines Sauerstoffgehalts reduziertes Gas A_2 aus.

Um die Leistungsfähigkeit der Membran 5 zu steigern, wird deren Durchgangsseite 7 mit einem inerten Spülgas G_{ER} beaufschlagt, das den Sauerstoff aus der Sauerstofftrenneinrichtung 4 abtransportiert. Das Spülgas G_{ER} wird im vorliegenden Fall durch extern rückgeführtes Abgas gebildet, das nach dem Brenner 3 einem Abgasstrang 9 entnommen wird.

Zweckmäßigerweise kann die Sauerstofftrenneinrichtung 4 außerdem als Wärmetauscher ausgebildet sein. Auf diese Weise kann zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Sauerstofftrenneinrichtung 4 die Temperatur des zugeführten sauerstoffhaltigen Gases A_1 erhöht werden.

Über eine Leitung 10 wird das mit Sauerstoff angereicherte, extern rückgeführte Abgas dem Brenner 3 zugeführt. Zum Antrieb dieses Gasgemischs aus Sauerstoff und extern rückgeführtem Abgas kann in der Leitung 10 eine Pumpe 11 oder Turbine oder Gebläse od.dgl. angeordnet sein.

Des weiteren ist eine Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 vorgesehen, die sowohl einen Bestandteil der Gemischbildungseinrichtung 2 als auch des Brenners 3 bilden kann. Im vorliegenden Fall führt eine Brennstoffleitung 13 Brennstoff F dem Brenner 3 zu. Wie bereits oben erwähnt ist der Brenner 3 mit einer externen Abgasrückführung 14 ausgestattet, die über eine vom Abgasstrang 9 abzweigende Rückführungsleitung 15 einen Teil der Verbrennungsabgase nach dem Brenner 3 entnimmt und letztlich vor dem Brenner 3 wieder zumischt. Im hier gezeigten Fall dienen die

extern rückgeführten Abgase G_{ER} zur Spülung der Membran 5. Des weiteren ist der Brenner 3 hier mit einer internen Abgasrückführung 16 ausgestattet, bei der ein Teil der Abgase in einem in Fig. 1 nicht gezeigten Brennraum des Brenners 3 verbleibt. Diese mit G_{IR} bezeichneten, intern rückgeführten Abgase vermischen sich im Brennraum mit den anderen, dem Brenner 3 zugeführten Gaskomponenten, um so das gewünschte Gasgemisch auszubilden, das eine relativ hohe Abgasrückführungsrate (extern und/oder intern) aufweist. Die interne Abgasrückführung ist in Fig. 1 außerdem durch Pfeile 17 symbolisiert.

Wie aus dem in Fig. 1 gezeigten Schema hervorgeht, arbeitet das mit der Anlage 1 durchführbare Verbrennungsverfahren ohne Stickstoff, so daß die vom Brenner 3 erzeugten Verbrennungsabgase keine oder nur noch parasitäre NO_x -Anteile enthalten, die aus dem Brennstoff stammen. Das abgeleitete Abgas G_S enthält im wesentlichen nur CO_2 und dampfförmiges Wasser (H_2O).

Erfindungsgemäß ist der Brenner 3 zur Durchführung einer flammenlosen Verbrennung ausgebildet. Zu diesem Zweck ist die Gemischbildungseinrichtung 2 so ausgestaltet, daß sie zur Herstellung des zu verbrennenden Gasgemischs erst im Brenner 3 den Oxidator O_x zusammen mit den extern rückgeführten Abgasen G_{ER} und den Brennstoff F zusammenbringt. Des weiteren wird durch ein entsprechendes Zusammenspiel der Gemischbildungseinrichtung 2 und des Brenners 3 gewährleistet, daß das fertiggestellte Gasgemisch, das sich bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform erst durch die Vermischung der intern rückgeführten Abgasmenge G_{IR} ausbildet, eine Temperatur aufweist, die oberhalb der Selbstentzündungstemperatur dieses Gasgemischs liegt. Unter diesen Voraussetzungen kann im Brenner 3 die gewünschte flammenlose Verbrennung realisiert werden. Von besonderem Vorteil ist hierbei, daß eine derartige flammenlose Verbrennung auch dann hinreichend stabil ablaufen kann, wenn das zu verbrennende Gasgemisch einen sehr niedrigen Sauerstoffgehalt, also eine sehr schwache Reaktivität aufweist. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn zur Leistungssteigerung der Sauerstofftrenneinrichtung 4 eine relativ große Spülgasmenge zum Abtransport des Sauerstoffs, also eine relativ hohe externe Abgasrückführungsrate verwendet wird.

Dabei ist es durchaus möglich, daß die externe Abgasrückführungsrate so groß gewählt ist, daß auf eine interne Abgasrückführung mehr oder weniger verzichtet werden kann oder daß die interne Abgasrückführung sehr niedrig gehalten werden kann.

Es hat sich gezeigt, daß eine zuverlässige flammenlose Verbrennung realisierbar ist, wenn im Gasgemisch ein Volumenverhältnis von Inertgas, also extern rückgeführtes Abgas G_{ER} sowie intern rückgeführtes Abgas G_{IR} , zu Brennstoff F und Sauerstoff O_x größer als 2, insbesondere größer als 3, ist.

Entsprechend Fig. 2 kann der Brenner 3 entsprechend einer besondere Ausführungsform einen Vorbrennraum 18 und einen bezüglich einer durch einen Pfeil 19 symbolisierten Durchströmungsrichtung des Brenners 3 nachgeordneten Hauptbrennraum 20 aufweisen. Der Brenner 3 ist bezüglich einer Symmetrieachse 21 zweckmäßig rotationssymmetrisch ausgebildet.

Die Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 ist bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 so ausgestaltet, daß erste Einspritzdüsen 22 im Vorbrennraum 18 eine Voreinspritzung von Brennstoff ermöglichen. Des weiteren sind zweite Einspritzdüsen 23 vorgesehen, die im Hauptbrennraum 20 eine Haupteinspritzung von Brennstoff ermöglichen. Im Vorbrennraum 18 sind hier in Strömungsrichtung 19 hintereinander eine Mixeinrichtung 24, eine Katalysatoreinrichtung 25 und eine Verwirbelungseinrichtung 26 angeordnet.

Der Brenner 3 gemäß Fig. 2 arbeitet wie folgt:

Dem Vorbrennraum 18 wird Sauerstoff O_x zugeführt, der mehr oder weniger mit extern rückgeführtem Abgas G_{ER} verdünnt sein kann, so daß dann ein Sauerstoff-Abgas-Gemisch $O_x + G_{ER}$ zugeführt wird. Über die ersten Einspritzdüsen 22 wird eine relativ kleine Brennstoffmenge eingespritzt. In der Mixeinrichtung 24 erfolgt eine intensive Durchmischung der einzelnen Komponenten. In der Katalysatoreinrichtung 25, die einen entsprechenden Katalysator enthält, erfolgt eine katalytisch initiierte

oder stabilisierte Verbrennung des Brennstoffs F, wobei nur ein Teil der zugeführten Sauerstoffmenge verbraucht wird. Insbesondere ist es möglich, nur einen Teilstrom durch die Katalysatoreinrichtung 25 zu leiten, wodurch in diesem Teilstrom auch eine vollständige Verbrennung des Sauerstoffs realisierbar ist.

Durch die katalytische Verbrennung kann eine Temperaturerhöhung des dem Hauptbrennraum 20 zugeführten Gasgemischs erreicht werden. Durch die katalytische Verbrennung im Vorbrennraum 18 kann quasi intern die Abgasmenge und somit die Abgaskonzentration erhöht werden, wodurch es möglich ist, die extern rückgeführte Abgasmenge G_{ER} zu reduzieren. Da eine hohe externe Abgasrückführungsrate zu hohen Druckverlusten führt, die durch entsprechende Pumpleistung ausgeglichen werden müssen, kann durch die hier vorgeschlagene interne katalytische Abgaserzeugung der Gesamtwirkungsgrad des Turbinenprozesses verbessert werden.

Bei der Durchströmung der Verwirbelungseinrichtung 26 kann der Gasströmung ein gewünschtes Strömungs- bzw. Wirbelverhalten aufgezwungen werden. Im Hauptbrennraum 20 erfolgt dann über die zweiten Einspritzdüsen 23 die Zugabe weiteren Brennstoffs F, wobei sich dann das gewünschte Gasgemisch ausbildet, dessen Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur dieses Gasgemischs liegt. Je nach externer Abgasrückführungsrate kann für diese Gemischbildung eine interne Abgasrückführung erforderlich sein, die hier mittels geeigneter, aerodynamisch arbeitender Abgasleiteinrichtungen erzeugt werden kann. Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird durch eine Querschnittserweiterung 27 beim Übergang vom Vorbrennraum 18 in den Hauptbrennraum 20 eine solche Abgasleiteinrichtung gebildet, die eine durch einen Pfeil 28 symbolisierte ringförmige Wirbelwalze initiiert. Die so gebildete Abgasleiteinrichtung bewirkt durch den Wirbel 28 eine Rückströmung eines Teils der Abgase entgegen der Durchströmungsrichtung 19 des Brenners 3, so daß dieser Anteil der Abgase im Hauptbrennraum 20 verbleibt. Die in der Nähe der Symmetrieachse 21 dargestellte und mit 29 bezeichnete ringförmige Wirbelwalze kann beispielsweise durch die Verwirbelungseinrichtung

26, insbesondere in Verbindung mit der Querschnittserweiterung 27, initiiert werden. Auch diese Wirbelwalze 29 unterstützt die interne Abgasrückführung.

Durch eine geeignete Wahl der Strömungsgeschwindigkeiten, der Verwirbelungen und insbesondere der internen Abgasrückführung können relativ große Aufenthaltszeiten für das zu verbrennende Gas im Brenner 3 erreicht werden, wodurch eine vollständige Verbrennung des eingespritzten Brennstoffs gewährleistet werden kann.

Diese Rezirkulation aufgrund der Wirbel 28 und 29 unterstützt außerdem die Vermischung der intern rückgeführten Abgase mit dem in den Hauptbrennraum 20 eingeleiteten Gasgemisch, wodurch beispielsweise auch eine Aufheizung der brennbaren Mischung sowie eine Stabilisierung der Reaktionen erzielbar ist. Dementsprechend ist die Katalysatoreinrichtung 25, die zu einer Temperaturerhöhung im Gemisch führt, nicht zwingend erforderlich, kann jedoch z.B. im Teillastbereich, hilfreich sein.

Entsprechend Fig. 3 kann bei einer besonderen Ausführungsform die Brennstoffeinspritzeinrichtung 12 eine Lanze 30 aufweisen, die sich coaxial zur Symmetrieachse 21 erstreckt. Diese Lanze 30 weist dem Vorbrennraum 18 zugeordnete erste Einspritzdüsen 31 sowie dem Hauptbrennraum 20 zugeordnete zweite Einspritzdüsen 32 auf. Mit Hilfe einer derartigen Lanze 30 kann im Hauptbrennraum 20 eine besonders homogene Verteilung der eingespritzten Brennstoffmenge erreicht werden, wodurch die Ausbildung einer flammenlosen Verbrennung erleichtert wird.

Es ist klar, daß die Einspritzdüsen 22, 23, 31 und 32 vorzugsweise rotationssymmetrisch zur Symmetrieachse 21 verteilt angeordnet sind, wobei von jedem Düsentyp durchaus mehr als die zwei exemplarisch dargestellten Düsen vorgesehen sein können.

Durch die flammenlose Verbrennung im Hauptbrennraum 20 ergibt sich eine über den gesamten Hauptbrennraum 20 homogen verteilte Verbrennung, die pulsations-

frei abläuft. Die flammenlose Verbrennung erzeugt somit eine homogene Temperaturverteilung über den gesamten Hauptbrennraum 20, wodurch die Integration des Brenners 3 in einen Wärmetauscher und/oder in eine Sauerstofftrenneinrichtung 4 sowie ein unmittelbarer Anbau des Brenners 3 an einen Wärmetauscher und/oder an eine Sauerstofftrenneinrichtung 4 erheblich vereinfacht ist.

Da bei der flammenlosen Verbrennung eine einzelne Zündstelle innerhalb des Brennraums nicht mehr lokalisierbar ist, reduziert sich die Gefahr eines Flammenrückschlags.

Während bei den in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Ausführungsformen stets reiner Brennstoff in den Brenner 3 bzw. in den Hauptbrennraum 20 eingeleitet wird, kann bei einer anderen Ausführungsform zur Ausbildung des gewünschten Gasgemischs auch ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas, z.B. extern rückgeführtes Abgas, verwendet werden. Im Unterschied zu den dargestellten Ausführungsformen ist es ebenso möglich, anstelle eines Gemischs aus Sauerstoff und Inertgas, den Sauerstoff im wesentlichen in Reinform dem Brenner 3 bzw. dem Hauptbrennraum 20 zuzuführen. Im wesentlichen reiner Sauerstoff kann beispielsweise kryo-technisch hergestellt werden.

Bei einer Ausführungsform, bei der die Gemischbildungseinrichtung 2 im wesentlichen reinen Sauerstoff in den Hauptbrennraum 20 einbringt, erfolgt dies zur Erzielung des gewünschten Gasgemischs an einer Stelle, in deren Nähe auch die Brennstoffeinspritzung stattfindet. Eine interne Abgasrückführung mit relativ hoher Rückführungsrate dient dann zur Ausbildung des gewünschten Gasgemischs.

Sofern reiner Sauerstoff zur Verfügung steht und in der Nähe der Brennstoffeindüsung in den Hauptbrennraum 20 eingeleitet wird, kann die flammenlose Verbrennungsreaktion aufgrund der lokal erhöhten Temperaturen relativ stabil initiiert werden. Insoweit kann bei einer solchen Ausführungsform die Katalysatoreinrichtung 25 entfallen.

Ebenso ist es möglich, Sauerstoff sowohl in den Vorbrennraum 18 als auch in den Hauptbrennraum 20 einzuleiten, wodurch einerseits eine katalytisch Vorwärmung des zugeführten Gasgemischs erreichbar ist und andererseits eine stabilere flammenlose Verbrennung realisierbar ist. Die letztgenannte Ausführungsform ist insbesondere bei Teillast des Brenners 3 von Vorteil.

Es ist klar, daß die vom Brenner 3 erzeugten Abgase G_S beispielsweise in einer Gasturbinenanlage zur Erzeugung von elektrischem Strom verwendbar sind.

Bezugszeichenliste

1	Anlage
2	Gemischbildungseinrichtung
3	Brenner
4	Sauerstofftrenneinrichtung
5	Sauerstoff-Transport-Membran
6	Sperrseite von 5
7	Durchgangsseite von 5
8	Sauerstofftransport
9	Abgasstrang
10	Leitung
11	Pumpe
12	Brennstoffeinspritzeinrichtung
13	Brennstoffleitung
14	externe Abgasrückführung
15	Rückführungsleitung
16	interne Abgasrückführung
17	Pfeil
18	Vorbrennraum
19	Strömungsrichtung
20	Hauptbrennraum

21	Symmetrieachse
22	erste Einspritzdüse
23	zweite Einspritzdüse
24	Mixeinrichtung
25	Katalysatoreinrichtung
26	Verwirbelungseinrichtung
27	Querschnittserweiterung
28	Wirbelwalze
29	Wirbelwalze
30	Lanze
31	erste Einspritzdüse
32	zweite Einspritzdüse

Patentansprüche

1. Verbrennungsverfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, bei dem ein Gasgemisch aus Sauerstoff, Brennstoff und im wesentlichen stickstofffreien Inertgas gebildet und in einem Brenner (3) verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Verbrennung als flammenlose Verbrennung ausgestaltet ist.
2. Mit flammenloser Verbrennung arbeitendes Verbrennungsverfahren, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, bei dem ein Gasgemisch aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas in einem Brenner (3) verbrannt wird, dadurch gekennzeichnet, daß als Oxidator im wesentlichen reiner Sauerstoff oder ein Gemisch aus im wesentlichen reinen Sauerstoff und im wesentlichen stickstofffreien Inertgas verwendet wird, und daß als Inertgas ein im wesentlichen stickstofffreies Inertgas verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Gasgemischs oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des Gasgemischs liegt, wobei die Zumischung des Sauerstoffs oder eines Gemischs aus Sauerstoff und Inertgas und/oder die Zumischung des Brennstoffs oder eines Gemischs aus Brennstoff und Inertgas erst im Brenner (3) erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Inertgas ein Gemisch aus inerten Gasen ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß im Gasgemisch ein Volumenverhältnis von Inertgas zu Brennstoff und Sauerstoff größer ist als 1,5, insbesondere 2,5.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Inertgas aus einem bei der Verbrennung des Gasgemischs entstehenden Abgas gebildet ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zumischung des Abgases zum Sauerstoff und/oder zum Brennstoff durch eine interne Ab-

gasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase in einem Brennraum (20) des Brenners (3) verbleibt, und/oder durch eine externe Abgasrückführung (14) erfolgt, bei der ein Teil der Abgase nach dem Brenner (3) entnommen und vor den Brenner (3) rückgeführt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Gasgemischs kryotechnisch hergestellter, im wesentlichen reiner Sauerstoff verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Gasgemischs ein Gemisch aus im wesentlichen reinen Sauerstoff und Inertgas verwendet wird, das dadurch gebildet wird, daß eine Sauerstoff-Transport-Membran (5) aus einem an einer Sperrseite (6) der Membran (5) angeordneten sauerstoffhaltigen Gasgemisch (A1) Sauerstoff entnimmt und zu einer Durchgangsseite (7) der Membran (5) transportiert, wo der Sauerstoff mit dem als Spülgas verwendeten Inertgas abgeführt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Gasgemischs der Brennstoff oder ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas bezüglich einer Durchströmungsrichtung (19) des Brenners (3) an wenigstens zwei hintereinander angeordneten Stellen (22, 23; 31, 32) im Brenner (3) zugemischt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erhöhung der Gemischtemperatur im Brenner (3) und/oder zur Erhöhung des Abgasanteils im Gasgemisch vor einem Hauptbrennraum (20) eine katalytisch initiierte und/oder stabilisierte Vorverbrennung einer Teilmenge des Sauerstoffs und einer Teilmenge des Brennstoffs durchgeführt wird.
12. Anlage, insbesondere Gasturbinenanlage, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit einer Gemischbildungseinrichtung (2) zum Ausbilden eines im wesentlichen stickstofffreien Gasgemischs aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas und mit einem zur Durchführung einer flammenlosen Verbrennung ausgebildeten Brenner (3), wobei die Gemischbildungs-

einrichtung (2) erst im Brenner (3) Sauerstoff und Brennstoff zusammenbringt, derart, daß das fertiggestellte Gasgemisch eine Temperatur aufweist, die oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des Gasgemischs liegt.

13. Anlage nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abgasrückführung (14,16) vorgesehen ist und daß das Inertgas durch das bei der Verbrennung des Gasgemischs entstehende Abgas gebildet ist.
14. Anlage nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Abgasrückführung eine interne Abgasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase in einen Brennraum (20) des Brenners (3) verbleibt, und/oder eine externe Abgasrückführung (14), bei der ein Teil der Abgase nach dem Brenner (3) entnommen und vor dem Brenner (3) rückgeführt wird, umfaßt.
15. Anlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die interne Abgasrückführung (16) eine Verwirbelungseinrichtung (26) aufweist, die eine Gasströmung aus Sauerstoff oder aus einem Gemisch aus Sauerstoff und Abgas vor oder bei ihrem Eintritt in einen Brennraum (20) des Brenners (3) verwirbelt.
16. Anlage nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die interne Abgasrückführung (16) in einem Brennraum (20) des Brenners (3) eine Abgasleiteinrichtung, z.B. in Form einer Querschnittserweiterung (27), aufweist, die eine Rückströmung eines Teils der Abgase innerhalb des Brennraums (20) entgegen der Durchströmungsrichtung (19) des Brenners (3) bewirkt oder unterstützt.
17. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine Brennstoffeinspritzeinrichtung (12) vorgesehen ist, mit der Brennstoff sowohl in einen vorgeschalteten Vorbrennraum (18) des Brenners (3) als auch in einen nachgeschalteten Hauptbrennraum (20) des Brenners (3) einbringbar ist.
18. Anlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennstoffeinspritzeinrichtung (12) eine Lanze (30) aufweist, die sich zentrisch im Vorbrennraum (18) und im Hauptbrennraum (20) erstreckt und dem Vorbrennraum

(18) zugeordnete Einspritzdüsen (31) sowie dem Hauptbrennraum (20) zugeordnete Einspritzdüsen (32) aufweist, durch die der Brennstoff in den Vorbrennraum (18) bzw. in den Hauptbrennraum (20) eingebracht wird.

19. Anlage nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß im Vorbrennraum (18) ein Katalysator oder eine einen Katalysator beinhaltende Katalysatoreinrichtung (25) angeordnet ist, durch den oder die in den Vorbrennraum (18) eingebrachter Brennstoff mit in den Vorbrennraum (18) eingebrachtem Sauerstoff zumindest teilweise verbrennt.
20. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Gemischbildungseinrichtung (2) eine Sauerstofftrenneinrichtung (4) mit einer Sauerstoff-Transport-Membran (5) aufweist, die aus einem an einer Sperrseite (6) der Membran (5) angeordneten sauerstoffhaltigen Gasgemisch Sauerstoff entnimmt und zu einer Durchgangsseite (7) der Membran (5) transportiert, wo der Sauerstoff mit einem Spülgas abgeführt wird, wobei als Spülgas das Abgas einer externen Abgasrückführung (14) verwendet wird.
21. Anlage nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Gemischbildungseinrichtung (2) im wesentlichen reinen Sauerstoff in einen Brennraum (20) des Brenners (3) in der Nähe einer Stelle einbringt, bei der der Brennstoff oder ein Gemisch aus Brennstoff und Inertgas in den Brennraum (20) eingebracht wird, wobei eine interne Abgasrückführung (16), bei der ein Teil der Abgase im Brennraum (20) verbleibt, das zur Ausbildung des Gasgemischs fehlende Inertgas liefert.
22. Verwendung eines mit flammenloser Verbrennung arbeitenden Verbrennungsverfahrens, insbesondere für ein Verfahren zur Erzeugung von elektrischem Strom und/oder von Wärme, zum Verbrennen eines aus Oxidator, Brennstoff und Inertgas gebildeten im wesentlichen stickstofffreien Gasgemischs.

1/1

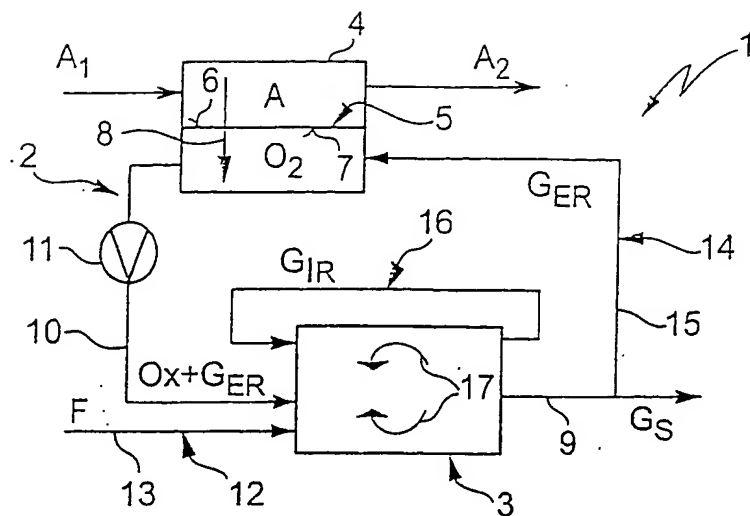


Fig. 1

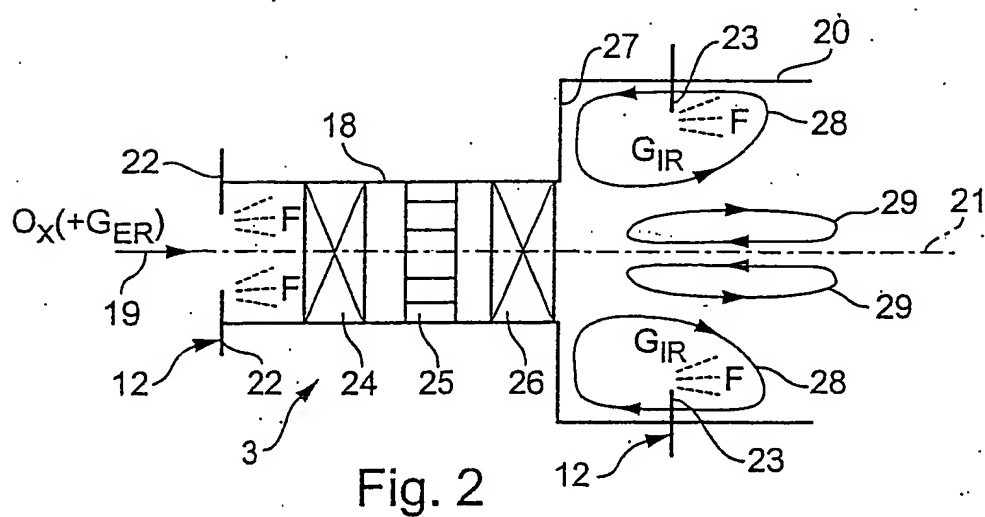


Fig. 2

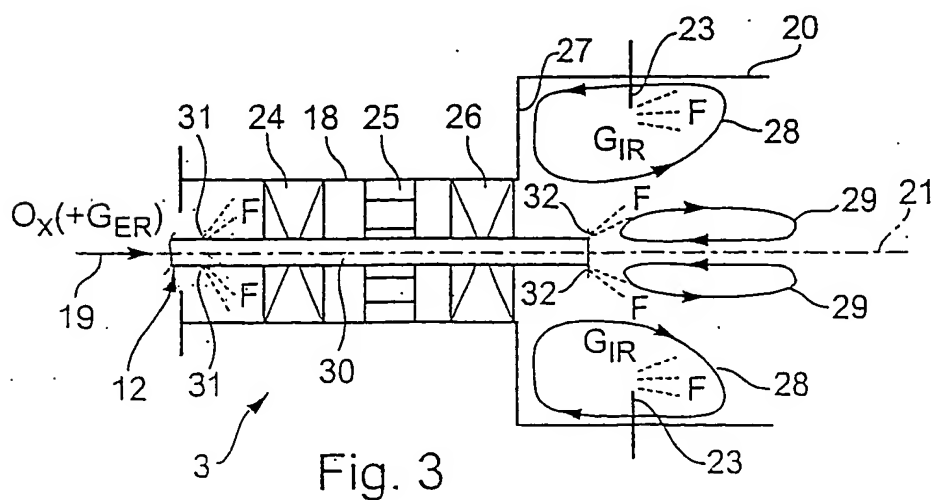


Fig. 3

Internal Application No
PCI/IB 02/04014

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 F23L F23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 013 995 A (BASF AG) 28 June 2000 (2000-06-28) column 4, line 8 - line 39 column 4, line 56 -column 5, line 7 column 6, line 12 - line 20 column 6, line 57 -column 7, line 16; figure	1,2,22
A	EP 0 463 218 A (WUENNING JOACHIM) 2 January 1992 (1992-01-02) cited in the application the whole document	2-7,11, 12
A	DE 199 25 715 A (KOEHNE HEINRICH) 14 December 2000 (2000-12-14) the whole document	2-7,12

-/--

☒ Patent family members are listed in annex.

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z document member of the same patent family

Date of mailing of the international search report

21/01/2003

Authorized officer

Coli, E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No
PCT/IB 02/04014

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 98 55394 A (AASEN KNUT INGVAR ; SANDVOLD ERIK (NO); NORSK HYDRO AS (NO); LONGVA) 10 December 1998 (1998-12-10) the whole document	8,9
X,P	WO 02 070951 A (REINTANZ DIETER ; INNOVATIONEN ZUR VERBRENNUNGST (DE)) 12 September 2002 (2002-09-12) page 7, line 16 - page 10, line 6 page 13, line 1 - line 3; figures 1,2	1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. 1al Application No
PCT/IB 02/04014

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1013995	A	28-06-2000	DE 19858120 A1	21-06-2000
			EP 1013995 A2	28-06-2000
			JP 2000186808 A	04-07-2000
			US 6234092 B1	22-05-2001
EP 0463218	A	02-01-1992	EP 0463218 A1	02-01-1992
			AT 114364 T	15-12-1994
			DE 59007772 D1	05-01-1995
			ES 2064538 T3	01-02-1995
			JP 3260398 B2	25-02-2002
			JP 5126316 A	21-05-1993
			RU 2082915 C1	27-06-1997
			US 5154599 A	13-10-1992
DE 19925715	A	14-12-2000	DE 19925715 A1	14-12-2000
WO 9855394	A	10-12-1998	NO 972631 A	07-12-1998
			AU 3710297 A	21-12-1998
			EP 1015383 A1	05-07-2000
			JP 2001509877 T	24-07-2001
			WO 9855394 A1	10-12-1998
			US 6237339 B1	29-05-2001
WO 02070951	A	12-09-2002	DE 10110783 A1	02-10-2002
			WO 02070951 A1	12-09-2002

Int nales Aktenzeichen
PCT/IB 02/04014

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F23I F23C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 013 995 A (BASF AG) 28. Juni 2000 (2000-06-28) Spalte 4, Zeile 8 - Zeile 39 Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 7 Spalte 6, Zeile 12 - Zeile 20 Spalte 6, Zeile 57 - Spalte 7, Zeile 16; Abbildung ---	1,2,22
A	EP 0 463 218 A (WUENNING JOACHIM) 2. Januar 1992 (1992-01-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	2-7,11, 12
A	DE 199 25 715 A (KOEHNE HEINRICH) 14. Dezember 2000 (2000-12-14) das ganze Dokument ---	2-7,12
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

y Siehe Anhang Patentfamilie

- **Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen** :

- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Januar 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/01/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Coli, E

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. Aktenzeichen

PCT/IB 02/04014

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 98 55394 A (AASEN KNUT INGVAR ;SANDVOLD ERIK (NO); NORSK HYDRO AS (NO); LONGVA) 10. Dezember 1998 (1998-12-10) das ganze Dokument -----	8,9
X,P	WO 02 070951 A (REINTANZ DIETER ;INNOVATIONEN ZUR VERBRENNUNGST (DE)) 12. September 2002 (2002-09-12) Seite 7, Zeile 16 -Seite 10, Zeile 6 Seite 13, Zeile 1 - Zeile 3; Abbildungen 1,2 -----	1,2

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/IB 02/04014

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1013995	A	28-06-2000	DE 19858120 A1	21-06-2000
			EP 1013995 A2	28-06-2000
			JP 2000186808 A	04-07-2000
			US 6234092 B1	22-05-2001
EP 0463218	A	02-01-1992	EP 0463218 A1	02-01-1992
			AT 114364 T	15-12-1994
			DE 59007772 D1	05-01-1995
			ES 2064538 T3	01-02-1995
			JP 3260398 B2	25-02-2002
			JP 5126316 A	21-05-1993
			RU 2082915 C1	27-06-1997
			US 5154599 A	13-10-1992
DE 19925715	A	14-12-2000	DE 19925715 A1	14-12-2000
WO 9855394	A	10-12-1998	NO 972631 A	07-12-1998
			AU 3710297 A	21-12-1998
			EP 1015383 A1	05-07-2000
			JP 2001509877 T	24-07-2001
			WO 9855394 A1	10-12-1998
			US 6237339 B1	29-05-2001
WO 02070951	A	12-09-2002	DE 10110783 A1	02-10-2002
			WO 02070951 A1	12-09-2002